

УДК 621.31:629.78

## The Imitation Model of the Autonomous System of Power Supply

Vladimir I. Ivanchura,  
Yuri V. Krasnobayev and Sergei S. Post\*  
Siberian Federal University  
79 Svobodny, Krasnoyarsk, 660041, Russia

Received 03.08.2014, received in revised form 12.09.2014, accepted 04.10.2014

*The article presents a imitation model of autonomous system of power supply based on solar and storage batteries and load. Logic operation simulation models consistent with the logic element operation autonomous systems of power supply in real time. The load is defined timing diagram power electricity. There are timing charts, confirming the adequacy of the developed model.*

*Keywords: solar array, imitation model, storage battery, Solar controller.*

## Имитационная модель автономной системы электропитания

В.И. Иванчура,  
Ю.В. Краснобаев, С.С. Пост  
Сибирский федеральный университет  
Россия, 660041, Красноярск, пр. Свободный, 79

*В статье приводится имитационная модель автономной системы электропитания на основе солнечной и аккумуляторной батарей и нагрузки. Управление состояниями солнечной (СБ) и аккумуляторной (АБ) батареями обеспечивается контроллером солнечной батареи. Логика функционирования имитационных моделей соответствует логике функционирования элементов автономных СЭП в реальном времени. Алгоритм работы контроллера солнечной батареи обеспечивает возможность работы системы в режиме экстремального регулирования положения рабочей точки СБ, заряд АБ заданным током и ограничение зарядного напряжения АБ, а также отключение нагрузки при снижении напряжения АБ ниже задаваемого уровня. Модели элементов системы учитывают изменение внешних воздействий на систему автономного электропитания, а именно температуры окружающей среды, освещённости и угла падения солнечных лучей на панель СБ, а также изменения, связанные с внутренними параметрами, такими как деградация характеристик АБ, её тепловыделение, количество солнечных элементов в СБ, а также их вольтамперных и мощностных характеристик.*

*Нагрузка задаётся временной диаграммой мощности электропотребления. Приведены временные диаграммы, подтверждающие адекватность разработанной модели.*

*Ключевые слова: солнечная батарея, имитационная модель, аккумуляторная батарея, контроллер солнечной батареи.*

---

## 1. Введение

Преобразование солнечной энергии в электрическую является наиболее перспективным и активно развиваемым направлением возобновляемой энергетики. Солнечная энергия доступна, обладает практически безграничными ресурсами, при ее фотоэлектрическом преобразовании не происходит загрязнения окружающей среды. Фотоэлектрические генераторы для прямого преобразования солнечной энергии в электрическую, собранные из большого числа солнечных элементов (СЭ), получили название солнечных батарей. Современные солнечные батареи генерируют на свету значительную электрическую мощность и применяются для электроснабжения как космических аппаратов, так и многих наземных автономных устройств различного назначения [1].

Широкое внедрение солнечной энергетики ставит перед проектировщиками задачу оценки эффективности работы автономных систем электропитания с учётом изменения разнообразных факторов окружающей среды. Моделирование процессов в фотоэлектрической системе позволяет предсказать её функционирование при изменении как внешних, так и внутренних факторов. По сравнению с экспериментом имитационное моделирование предоставляет более быстрый и дешёвый способ отработки фотоэлектрических систем. Для воспроизведения характеристик СЭ и СБ чаще всего используются аналитические модели, которые строятся на функциональном уровне, т.е. модели, состоящие не из электрических принципиальных схем, а из уравнений, с достаточной точностью описывающих поведение элемента. Работы по исследованию характеристик активно ведутся за рубежом. Результаты исследований рассматриваются на регулярно проводимых конференциях по фотовольтаике. Вследствие перспективности внедрения солнечной энергетики вопрос моделирования автономных СЭП интересует и российских исследователей.

## 2. Постановка задачи

При проектировании и эксплуатации автономных систем электропитания (СЭП) на основе солнечных батарей необходимо обеспечить выполнение энергобаланса в СЭП при известных энергетических характеристиках солнечной и аккумуляторной батарей и заданной временной диаграмме энергопотребления со стороны нагрузки. При этом необходимо оценить влияние деградационных изменений энергетических характеристик основных и буферных источников на работу СЭП. Выбор солнечных и аккумуляторных батарей следует произвести, исходя из условия обеспечения энергобаланса. Также необходимо разработать и реализовать алгоритмы управления контроллером для обеспечения заданных режимов работы элементов СЭП.

Для решения поставленной задачи необходимо разработать имитационную модель автономной системы электропитания. Для её выполнения воспользуемся средой визуального моделирования Simulink, входящей в состав пакета MatLAB. Одним из главных его достоинств

является возможность моделирования, сочетающего методы структурного и имитационного моделирования. Такой подход в отличие от пакетов схемотехнического моделирования позволяет существенно упростить модель, а следовательно, повысить скорость вычислений, а также обеспечивает гибкость и трансформируемость системы под разрабатываемые алгоритмы [2].

### 3. Решение задачи

На рис. 1 а приведена модель разработанной модели автономной СЭП; на рис. 1 б изображены параметры системы, которые могут задаваться пользователем. К таким относятся ток короткого замыкания и напряжение холостого хода солнечного элемента, угол падения солнечных лучей на панель (в радианах), температура окружающей среды (К), количество СЭ в солнечной панели, заданные значения тока заряда и напряжения полного заряда АБ, а также уровень освещённости солнечной панели.

Наиболее сложной составляющей системы является модель контроллера СБ, структурная схема которой приведена на рис. 2.

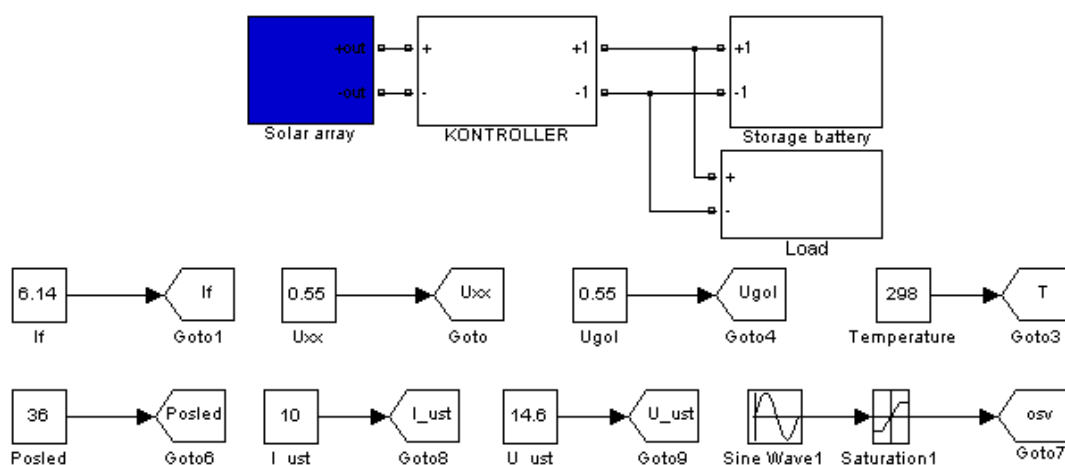


Рис. 1. Модель автономной СЭП и её параметры

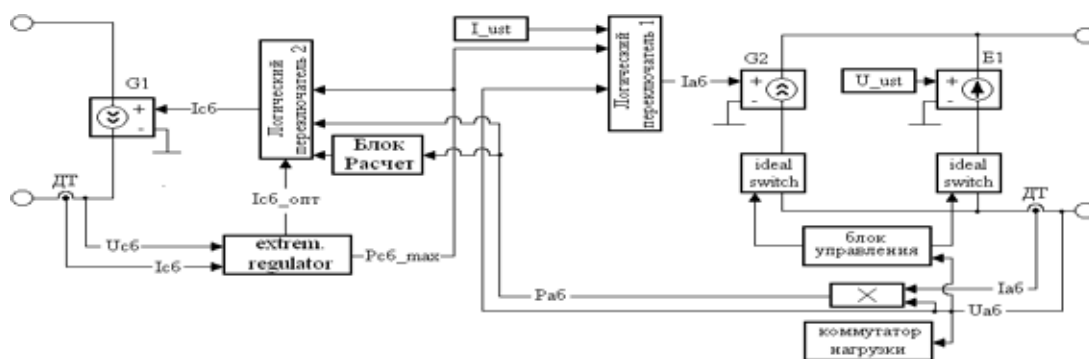


Рис. 2. Структурная схема имитационной модели контроллера солнечной батареи

Модель контроллера солнечной батареи функционирует в нескольких режимах, в том числе в режиме экстремального регулирования. Более подробно с моделью контроллера можно ознакомиться в [3, 4].

Модели солнечной батареи, контроллера солнечной батареи и аккумуляторной батареи рассмотрены в [5, 6]. Иерархическая структура блока «Load» с потребителями электрической энергии по табл. 1 представлена на рис. 3.

Данная структура имитирует нагрузку, представленную в табл. 1.

На рис. 4 отражена задаваемая временная диаграмма потребляемой мощности со стороны нагрузки.

Рассмотрим работу модели в целом. Пусть относительная освещённость СБ изменяется в течение суток так, как показано на рис. 5. Как видно из рисунка, СБ начинает освещаться в момент времени  $t_1$ , и к моменту времени  $t_2$  уровень освещенности достигает максимальной величины. В момент времени  $t_3$  уровень освещенности начинает снижаться и в момент времени  $t_4$  = СБ перестаёт освещаться.

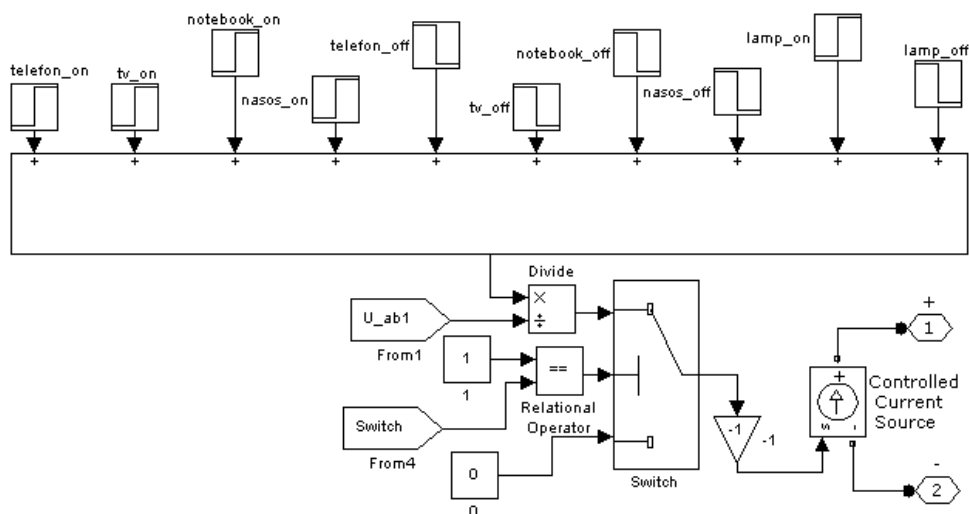


Рис. 3. Иерархическая структура блока «Load»

Таблица 1. Потребители электрической энергии в составе автономной СЭП

Наименование	Количество	Потребляемая мощность, Вт	Период использования
Телевизор Samsung	1	40	20:00 ÷ 23:00
Ноутбук Acer Aspire 4720Z	1	65	12:00 ÷ 16:00
Зарядное устройство для телефона Nokia	1	5	13:00 ÷ 15:00
Насос	1	100	13:00 ÷ 14:00
Энергосберегающие лампы	5	15	21:00 ÷ 24:00

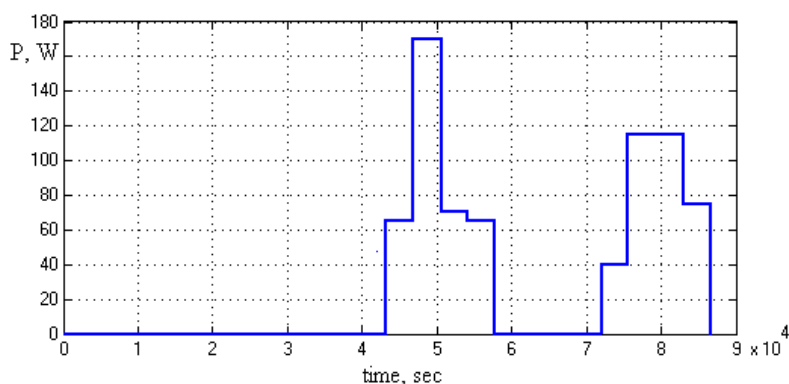


Рис. 4. Временная диаграмма потребляемой мощности

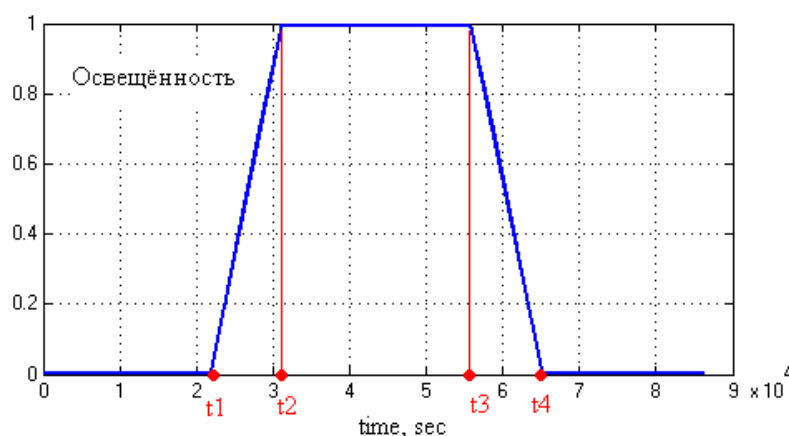


Рис. 5. Изменение уровня освещенности СБ в течение суток

На рис. 6 приведены временные диаграммы тока  $I_{аб}$  и напряжения  $U_{аб}$  аккумуляторной батареи за сутки. До момента времени  $t_1$  СБ не освещается и ток АБ = 0. В момент времени  $t_1$  на панель начинает падать солнечный свет, и батарея начинает заряжаться током, определяемым по формуле  $I_{аб} = P_{аб} / U_{аб}$ . В момент времени  $t_2'$  происходит коммутация нагрузки (см. табл. 1), и ток заряда снижается. В момент времени  $t_4$  СБ перестаёт освещаться и АБ переходит в режим разряда. Согласно алгоритму работы контроллера отключение нагрузки производится при снижении напряжения на АБ до уровня 10,5 В.

Как видно из временной диаграммы, напряжение АБ остаётся выше 10,5 В и отключение нагрузки не происходит. Следовательно, энергобаланс в системе выполняется.

#### 4. Заключение

1. В среде Simulink (MatLAB) разработана имитационная модель контроллера солнечной батареи (свидетельство № 2013612150). Данная модель адекватно отображает логику работы реального контроллера СБ, что позволяет использовать данную модель при проектировании автономных СЭП.

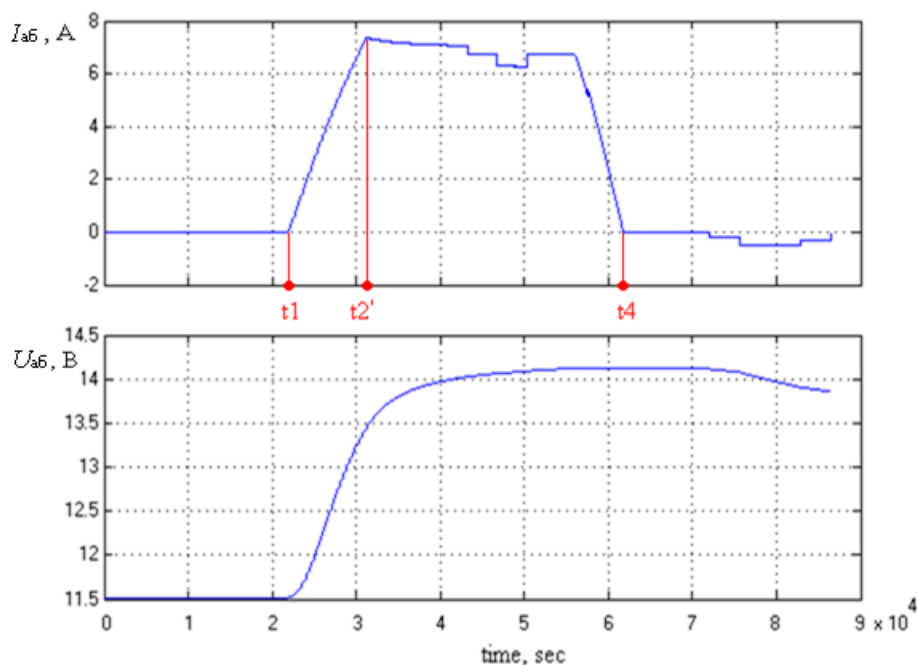


Рис. 6. Изменение уровня тока и напряжения АБ в течение суток

Разработаны и протестированы имитационные модели автономных систем электропитания: солнечной батареи, аккумуляторной батареи, контроллера солнечной батареи и нагрузки.

2. Из указанных выше элементов синтезирована модель автономной системы электропитания. Проведённое тестирование подтверждает адекватность разработанной модели. Модель может быть использована при проектировании реальных автономных систем электропитания.

### Список литературы

- [1] Лукьяненко М.В. и др. Источники энергии систем электроснабжения космических аппаратов / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2008. 176 с.
- [2] Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MatLAB, Simulink и SimPowerSystems. М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. 288 с.
- [3] Пост С.С., Иванчура В.И., Краснобаев Ю.В., Донцов О.А. Электромеханические преобразователи энергии (ЭПЭ – 2013). Томск, 2013. Вып. 6.
- [4] Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013612150.
- [5] Implement generic battery model. URL: <http://www.mathworks.com/help/physmod/powersys/ref/battery.html>
- [6] Раушенбах Г. Справочник по проектированию солнечных батарей. М.: Энергоатомиздат, 1983. 360 с.